

## UNIDAD N° 5: QUÍMICA ORGÁNICA

La química orgánica es la química del carbono. Todos los seres vivos están formados por moléculas orgánicas, proteínas, ácidos nucleicos, azúcares y grasas. Todos ellos son compuestos cuya base principal es el carbono. La química orgánica está presente en la vida diaria. El hombre está formado y rodeado por compuestos orgánicos. Casi todas las reacciones de la materia viva involucran compuestos orgánicos. Es imposible comprender la vida, al menos desde el punto de vista físico, sin saber algo sobre química orgánica.

La química orgánica estudia los compuestos del carbono. Los químicos del siglo XVIII utilizaban la palabra “orgánico” para describir las sustancias que se obtenían de fuentes vivas, como plantas y animales. Estos químicos creían que la naturaleza poseía cierta fuerza vital y que sólo las cosas vivas podían producir compuestos orgánicos. Esta concepción romántica se desechó en 1828, cuando el químico alemán Friedrich Wohler preparó urea, un compuesto orgánico, a partir de la reacción de dos compuestos inorgánicos, cianato de plomo y amoniaco acuoso:



En la actualidad se conocen más de 20 millones de compuestos orgánicos sintéticos y naturales. Este número es mucho mayor que los 100.000 o más compuestos inorgánicos que se conocen.

El carbono puede constituir más compuestos que ningún otro elemento, porque los átomos de carbono tienen la capacidad de formar enlaces carbono-carbono sencillos, dobles y triples, y también de unirse entre sí formando cadenas o estructuras cíclicas.

Las clases de compuestos orgánicos se distinguen de acuerdo con los grupos funcionales que contienen. Un grupo funcional es un grupo de átomos responsable del comportamiento químico de la molécula que lo contiene. Moléculas diferentes que contienen la misma clase de grupo o grupos funcionales reaccionan de manera semejante. Así, mediante el aprendizaje de

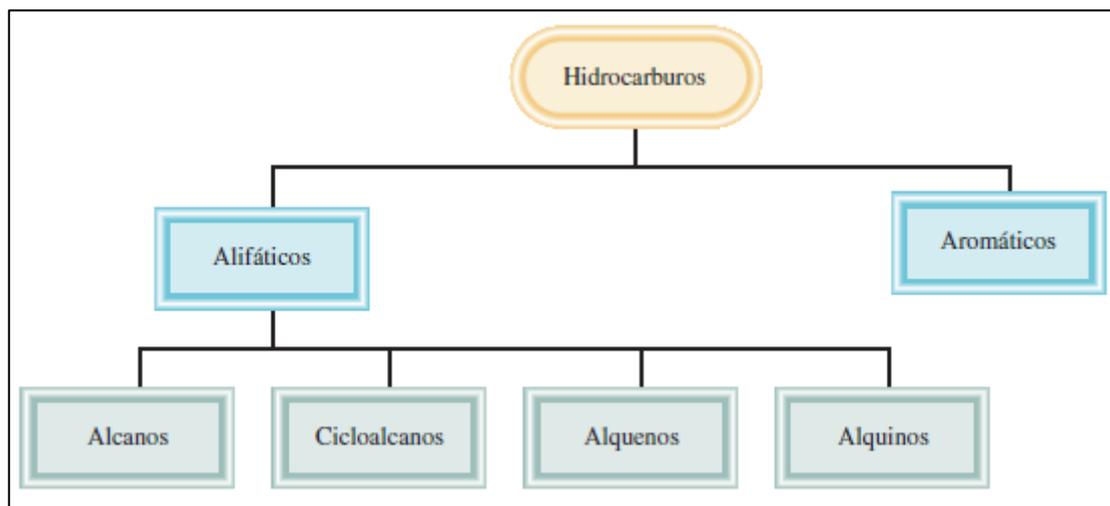


Figura 5.1: Clasificación de hidrocarburos.

Fuente: Química, R. Chang. 10° Edición.



las propiedades características de unos cuantos grupos funcionales, es posible estudiar y entender las propiedades de muchos compuestos orgánicos. En la segunda mitad de este capítulo analizaremos los grupos funcionales conocidos como alcoholes, éteres, aldehídos y cetonas, ácidos carboxílicos y aminas.

La mayor parte de los compuestos orgánicos se derivan de un grupo de compuestos conocidos como hidrocarburos, debido a que están formados sólo por hidrógeno y carbono. Con base en la estructura, los hidrocarburos se dividen en dos clases principales, como se puede observar en la figura 5.1, en alifáticos y aromáticos. Los hidrocarburos alifáticos no contienen el grupo benceno o anillo bencénico, en tanto que los hidrocarburos aromáticos contienen uno o más de ellos.

### HIDROCARBUROS ALIFÁTICOS

Los hidrocarburos alifáticos se dividen en alcanos, alquenos y alquinos, que se estudiarán a continuación.

#### Alcanos

Los alcanos tienen la fórmula general  $C_nH_{2n+2}$ , donde  $n = 1, 2, \dots$ . La principal característica de las moléculas hidrocarbonadas alcanos es que sólo presentan enlaces covalentes sencillos. Los alcanos se conocen como hidrocarburos saturados porque contienen el número máximo de átomos de hidrógeno que pueden unirse con la cantidad de átomos de carbono presentes.

El alcano más sencillo (es decir, con  $n = 1$ ) es el metano,  $CH_4$ , que es un producto natural de la descomposición bacteriana anaerobia de la materia vegetal subacuática. Debido a que se recolectó por primera vez en los pantanos, el metano llegó a conocerse como “gas de los pantanos”.

Las termitas constituyen una fuente bastante inverosímil pero comprobada de metano. Cuando estos voraces insectos consumen madera, los microorganismos que habitan en su sistema digestivo degradan la celulosa (el componente principal de la madera) hasta metano, dióxido de carbono y otros compuestos. También se produce en algunos procesos de tratamiento de desechos. A escala comercial, el metano se obtiene del gas natural.

En la figura 5.2 se muestran las estructuras de los primeros cuatro alcanos (desde  $n = 1$  hasta  $n = 4$ ). El gas natural es una mezcla de metano, etano y una pequeña cantidad de propano. Las estructuras del etano y del propano son únicas dado que sólo hay una forma de unir los átomos de carbono en estas moléculas. Sin embargo, el butano tiene dos posibles esquemas de enlace, dando isómeros estructurales, n-butano (la n indica normal) e isobutano, moléculas que tienen la misma fórmula molecular pero diferente estructura. Los alcanos como los isómeros estructurales del butano se describen como de cadena lineal o de estructura ramificada.

El n-butano es un alcano de cadena lineal porque los átomos de carbono están unidos a lo largo de una línea. En un alcano de cadena ramificada, como el isobutano, uno o más átomos de carbono están unidos por lo menos a otros tres átomos de carbono.

En la serie de los alcanos, a medida que aumenta el número de átomos de carbono, se incrementa rápidamente el número de isómeros estructurales. Por ejemplo, el butano,  $C_4H_{10}$ , tiene dos isómeros; el decano,  $C_{10}H_{22}$ , tiene 75 isómeros, y el alcano,  $C_{30}H_{62}$ , tiene más de 400 millones isómeros posibles. Por supuesto, la mayor parte de estos isómeros no existe en la

naturaleza ni se ha sintetizado. De cualquier manera, los números ayudan a explicar por qué el carbono se encuentra en muchos más compuestos que cualquier otro elemento.

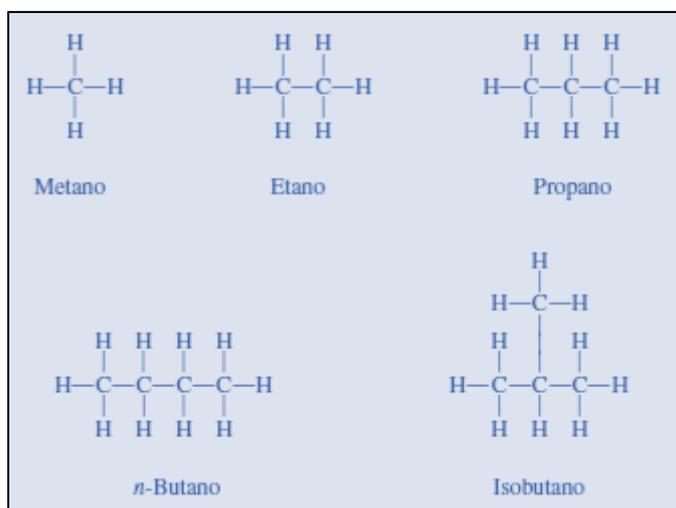


Figura 5.2: Estructura alcanos sencillos.  
 Fuente: Química, R. Chang, 10° Edición.

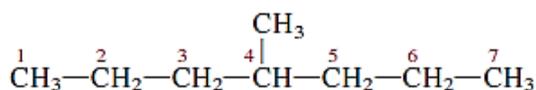
### Nomenclatura de los alcanos

La nomenclatura de los alcanos y de todos los demás compuestos orgánicos se basa en las recomendaciones de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC). Los cuatro primeros alcanos (metano, etano, propano y butano) tienen nombres no sistemáticos. Como se observa en la tabla 5.1, el número de átomos de carbono se refleja en el prefijo griego de los alcanos que contienen entre cinco y diez carbonos.

Tabla 5.1: Primero diez alcanos				
Alcano	Fórmula molecular	N° de átomos de C	PF (° C)	PE (° C)
Metano	CH <sub>4</sub>	1	-182,5	-161,6
Etano	CH <sub>3</sub> -CH <sub>3</sub>	2	-183,3	-88,6
Propano	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>	3	-189,7	-42,1
Butano	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>	4	-138,3	-0,5
Pentano	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> -CH <sub>3</sub>	5	-129,8	36,1
Hexano	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> -CH <sub>3</sub>	6	-95,3	68,7
Heptano	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> -CH <sub>3</sub>	7	-90,6	98,4
Octano	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> -CH <sub>3</sub>	8	-56,8	125,7
Nonano	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> -CH <sub>3</sub>	9	-53,5	150,8
Decano	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> -CH <sub>3</sub>	10	-29,7	174,0

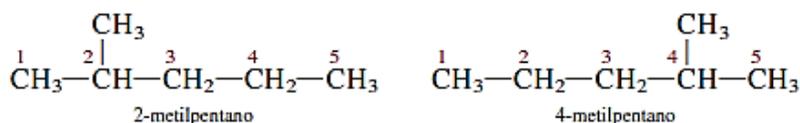
A continuación, se enunciarán las reglas de la IUPAC:

1. El nombre base del hidrocarburo está dado por la cadena continua más larga de átomos de carbono en la molécula. Así, el nombre base del siguiente compuesto es heptano, porque hay siete átomos de carbono en la cadena más larga.



2. Un alcano menos un átomo de hidrógeno es un grupo alquilo. Por ejemplo, cuando se remueve un átomo de hidrógeno del metano, queda el fragmento CH<sub>3</sub>, que recibe el nombre de grupo metilo. De manera similar, al eliminar un átomo de hidrógeno de la molécula de etano se forma un grupo etilo, o C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>. Cualquier ramificación de la cadena más larga se nombra como un grupo alquilo. En la figura 5.3, se nombran los grupos alquilo más comunes.

3. Cuando se reemplazan uno o más átomos de hidrógeno por otros grupos, el nombre del compuesto debe indicar la localización de los átomos de carbono donde se hicieron los reemplazos. El procedimiento que se sigue es numerar cada uno de los átomos de carbono de la cadena más larga en la dirección en que las localizaciones de todas las ramificaciones tengan los números más pequeños. Considere las dos diferentes formas para el mismo compuesto que se presentan a continuación:

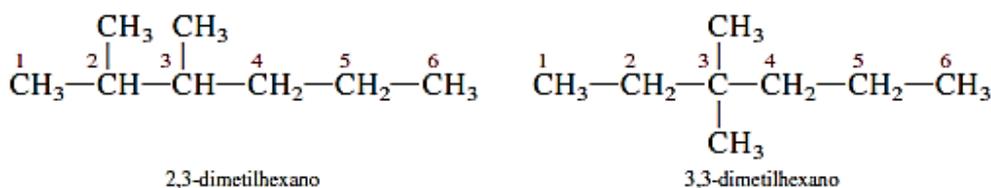


El compuesto del lado izquierdo tiene la numeración correcta, ya que el grupo metilo está localizado en el carbono 2 de la cadena del pentano; en el compuesto del lado derecho, el grupo metilo está localizado en el carbono 4. Así, el nombre del compuesto es 2-metilpentano y no 4-metilpentano. Observe que el nombre de la ramificación y el nombre base se escriben como una sola palabra y que, después del número, se coloca un guión.

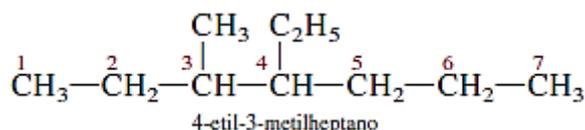
Nombre	Fórmula
Metilo	—CH <sub>3</sub>
Etilo	—CH <sub>2</sub> —CH <sub>3</sub>
<i>n</i> -Propilo	—CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —CH <sub>3</sub>
<i>n</i> -Butilo	—CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —CH <sub>2</sub> —CH <sub>3</sub>
Isopropilo	$  \begin{array}{c}  \text{CH}_3 \\    \\  -\text{C}-\text{H} \\    \\  \text{CH}_3  \end{array}  $
<i>t</i> -Butilo*	$  \begin{array}{c}  \text{CH}_3 \\    \\  -\text{C}-\text{CH}_3 \\    \\  \text{CH}_3  \end{array}  $

Figura 5.3: Grupos alquilo.  
 Fuente: Química, R. Chang. 10ª Edición.

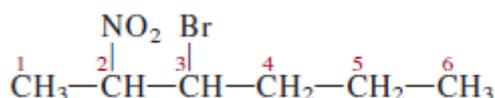
4. Cuando hay más de una ramificación de grupos alquilo de la misma clase, se utilizan los prefijos di-, tri- o tetra- antes del nombre del grupo alquilo. Considere los siguientes ejemplos:



Cuando hay dos o más grupos alquilo diferentes, los nombres de los grupos se disponen alfabéticamente. Por ejemplo,



5. Por supuesto, los alcanos pueden tener muchos tipos diferentes de sustituyentes. En la figura 5.4 se incluyen los nombres de algunos sustituyentes, como el nitro y el bromo. Así, el compuesto que se muestra a continuación se nombra 3-bromo-2-nitrohexano. Observe que los grupos sustituyentes se disponen alfabéticamente en el nombre, y que la cadena se numera en la dirección que da el número más pequeño para el primer átomo de carbono sustituido.

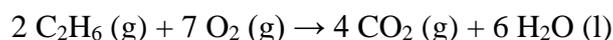
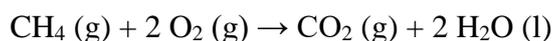


Grupo funcional	Nombre
—NH <sub>2</sub>	Amino
—F	Fluoro
—Cl	Cloro
—Br	Bromo
—I	Yodo
—NO <sub>2</sub>	Nitro
—CH=CH <sub>2</sub>	Vinil

Figura 5.4: Grupos sustituyentes comunes.  
 Fuente: Química, R. Chang. 10ª Edición.

### Reacciones de alcanos

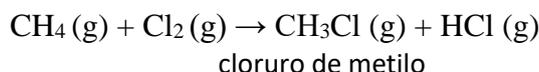
En general se considera que los alcanos no son sustancias muy reactivas. Sin embargo, en condiciones adecuadas reaccionan. Por ejemplo, el gas natural, la gasolina y el combustóleo son alcanos cuyas reacciones de combustión son muy exotérmicas:



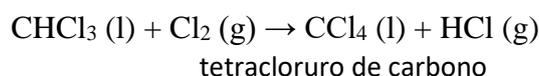
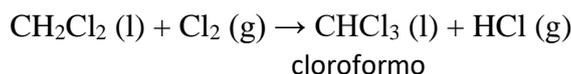
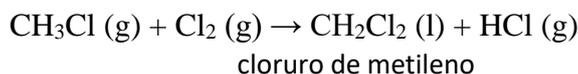
Éstas y otras reacciones semejantes de combustión se han utilizado durante mucho tiempo en procesos industriales, en la calefacción doméstica y para cocinar.

La halogenación de los alcanos, es decir, la sustitución de uno o más átomos de hidrógeno por átomos de halógenos, es otra clase de reacción de los alcanos. Cuando una mezcla de

metano y cloro se calienta a más de 100 °C o se irradia con luz de la longitud de onda apropiada, se produce cloruro de metilo:



En presencia de un exceso de cloro gaseoso, la reacción puede continuar:



Los alcanos en que se han sustituido uno o más átomos de hidrógeno por un átomo de halógeno se llaman halogenuros de alquilo. Entre el gran número de halogenuros de alquilo, los más conocidos son el cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ), el tetracloruro de carbono ( $\text{CCl}_4$ ), el cloruro de metileno ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ) y los clorofluorohidrocarburos.

El cloroformo es un líquido volátil, de sabor dulce, que durante muchos años se utilizó como anestésico. Sin embargo, debido a su toxicidad (puede producir daño severo en el hígado, los riñones y el corazón) se ha sustituido por otros compuestos. El tetracloruro de carbono también es una sustancia tóxica que sirve como líquido limpiador, el cual quita las manchas de grasa de la ropa. El cloruro de metileno se utiliza como disolvente para descafeinar el café y como removedor de pintura.

### Cicloalcanos

Los alcanos cuyos átomos de carbono se unen formando anillos se conocen como cicloalcanos. Tienen la fórmula general  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ , donde  $n = 3, 4, \dots$ . El cicloalcano más sencillo es el ciclopropano,  $\text{C}_3\text{H}_6$ . Muchas sustancias de importancia biológica, como el colesterol, la testosterona y la progesterona contienen uno o más de tales sistemas cíclicos. En la figura 5.5 se muestran las estructuras de los cicloalcanos más sencillos.

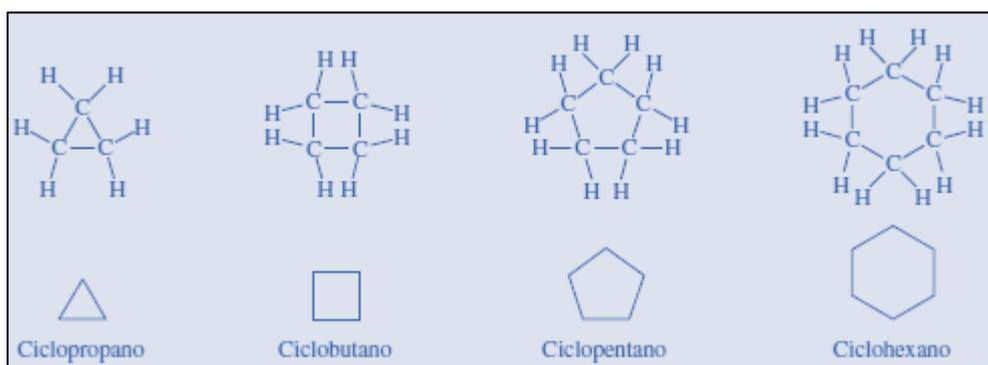


Figura 5.5: Cicloalcanos.

Fuente: Química, R. Chang. 10ª Edición.

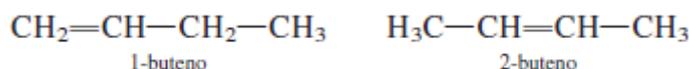


## Alquenos

Los alquenos (también llamados olefinas) contienen por lo menos un doble enlace carbono-carbono. Los alquenos tienen la fórmula general  $C_nH_{2n}$ , donde  $n = 2, 3, \dots$ . El alqueno más sencillo es  $C_2H_4$ , etileno o eteno.

### Nomenclatura de los alquenos

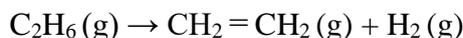
Para nombrar los alquenos se indican las posiciones de los dobles enlaces carbono-carbono. Los nombres de estos compuestos terminan en -eno. Como en el caso de los alcanos, el nombre del compuesto base se determina por el número de átomos de carbono de la cadena más larga, como se muestra aquí:



Los números en los nombres de los alquenos indican el átomo de carbono con el número más pequeño en la cadena que es parte del enlace  $C=C$  del alqueno. El nombre "buteno" significa que hay cuatro átomos de carbono en la cadena más larga.

### Formación de los alquenos

El etileno es una sustancia muy importante porque se utiliza en grandes cantidades en la manufactura de polímeros orgánicos y en la preparación de muchos otros compuestos orgánicos. El etileno se prepara de manera industrial por el proceso de craqueo, es decir, la descomposición térmica de un hidrocarburo superior en moléculas más pequeñas. Cuando el etano se calienta alrededor de  $800\text{ }^\circ\text{C}$ , se produce la siguiente reacción:

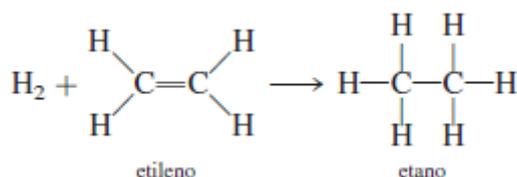


Otros alquenos se pueden preparar por el craqueo de miembros superiores de la familia de los alcanos.

### Reacciones de los alquenos

Los alquenos se clasifican como hidrocarburos insaturados, los cuales comprenden compuestos con dobles o triples enlaces carbono-carbono que les permiten adicionar átomos de hidrógeno. Los hidrocarburos insaturados por lo general presentan reacciones de adición, en las que una molécula se adiciona a otra para formar un solo producto. La hidrogenación es un ejemplo de una reacción de adición.

La hidrogenación es la adición de hidrógeno a compuestos que contienen enlaces múltiples, en especial enlaces  $C=C$  y  $C\equiv C$ . Una reacción de hidrogenación sencilla es la conversión de etileno en etano:

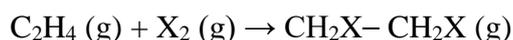
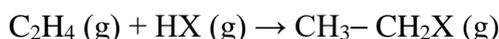


Esta reacción es muy lenta en condiciones normales, pero es posible acelerarla en forma considerable con la presencia de un catalizador como níquel o platino.



La hidrogenación es un proceso muy importante en la industria de los alimentos. Los aceites vegetales tienen un gran valor nutritivo, pero algunos se deben hidrogenar antes de utilizarse, debido a su mal sabor y a sus estructuras moleculares inapropiadas (es decir, tienen demasiados enlaces C=C). Por exposición al aire, estas moléculas poliinsaturadas (es decir, moléculas con muchos enlaces C=C) se oxidan formando productos con sabores desagradables (cuando un aceite se oxida, se dice que está rancio). Durante el proceso de la hidrogenación se agrega al aceite una pequeña cantidad de níquel (alrededor de 0,1 % en masa) y la mezcla se somete a hidrógeno gaseoso, a temperatura y presión altas. Después, el níquel se elimina por filtración. La hidrogenación disminuye el número de enlaces dobles en la molécula, pero no los elimina por completo. Si se eliminaran todos los enlaces dobles, el aceite se volvería duro y quebradizo. En condiciones controladas es posible preparar aceites y margarinas adecuados para cocinar por medio de la hidrogenación de aceites vegetales extraídos de la semilla de algodón, maíz y soja.

Otras reacciones de adición al enlace C=C incluyen:



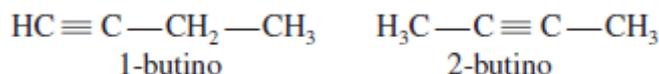
donde X representa un halógeno (Cl, Br o I).

### Alquinos

Los alquinos contienen por lo menos un triple enlace carbono-carbono. Tienen la fórmula general  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ , donde  $n = 2, 3, \dots$

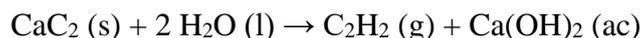
#### **Nomenclatura de los alquinos**

Los nombres de los compuestos que contienen enlaces  $\text{C}\equiv\text{C}$  terminan en -ino. De nuevo, el nombre del compuesto base está determinado por el número de átomos de carbono en la cadena más larga. Al igual que en el caso de los alquenos, los nombres de los alquinos indican la posición del triple enlace carbono-carbono; por ejemplo:



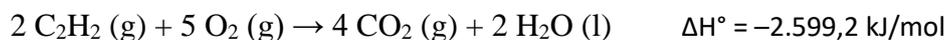
#### **Formación de los alquinos**

El alquino más sencillo es el etino, más conocido como acetileno ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ), cuya estructura es:  $\text{H—C}\equiv\text{C—H}$ . El acetileno es un gas incoloro que se prepara mediante la reacción entre carburo de calcio y agua:



#### **Reacciones de los alquinos**

El acetileno tiene muchos usos importantes en la industria. Debido a su alto calor de combustión

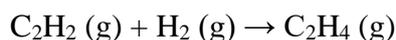


El acetileno a diferencia de la de los alcanos tiene una molécula inestable (respecto de sus elementos) y tiende a descomponerse:

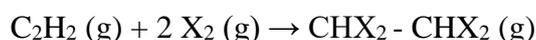
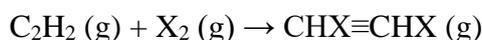
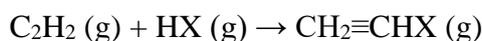


En presencia de un catalizador adecuado, o cuando el gas se mantiene a presión, esta reacción suele ocurrir con violencia explosiva. Para transportar el gas sin correr riesgos, debe disolverse en un disolvente orgánico, como acetona, a presión moderada. En estado líquido, el acetileno es muy sensible a los golpes y altamente explosivo.

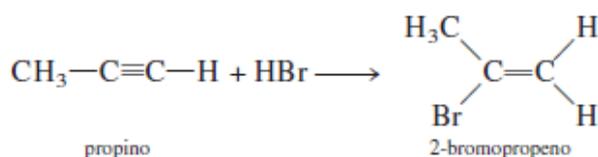
El acetileno es un hidrocarburo insaturado que se hidrogena para producir etileno:



También participa en las siguientes reacciones de adición, con halogenuros de hidrógeno y halógenos:



El metilacetileno (propino),  $\text{CH}_3 - \text{C}\equiv\text{C} - \text{H}$ , es el siguiente miembro de la familia de los alquinos. Participa en reacciones semejantes a las del acetileno.



### Propiedades físicas de los hidrocarburos y halogenuros de alquilo

#### **Punto de ebullición**

Como ya se sabe, el punto de ebullición (PE) de un compuesto es la temperatura en la que su forma líquida se convierte a gas (evapora). Para que un compuesto se evapore, se deben superar las fuerzas que mantienen a las moléculas individuales unidas unas con otras. Esto significa que el punto de ebullición de un compuesto depende de la magnitud de las fuerzas de atracción que existe entre las moléculas individuales.

Los alcanos contienen solamente átomos de carbono e hidrógeno. Como las electronegatividades del carbono e hidrógeno son semejantes, los enlaces de los alcanos son no polares. En consecuencia, no existen cargas parciales significativas en ninguno de los átomos de un alcano. Sin embargo, sólo la distribución de carga promedio sobre la molécula de alcano es neutra. Los electrones se mueven continuamente, por lo que en cualquier instante la densidad electrónica en un lado de la molécula puede ser ligeramente mayor que la del otro lado, provocando que la molécula tenga un dipolo temporal. Una molécula con dipolo tiene un extremo positivo y otro negativo. En una molécula, un dipolo temporal puede inducir un dipolo temporal en la molécula contigua. Puesto que los dipolos en las moléculas son inducidos, las interacciones entre las moléculas se denominan interacciones dipolo-inducido-dipolo-inducido, y se conocen como fuerzas de Van der Waals.

Las fuerzas de Van der Waals son las más débiles de todas las atracciones intermoleculares. Para que un alcano hierva se deben superar las fuerzas de Van der Waals. La magnitud de las fuerzas de Van der Waals que mantienen unidas a las moléculas de los alcanos dependen de la superficie de contacto entre las moléculas. Entre mayor sea el área de contacto, más fuertes son las fuerzas de Van der Waals y mayor la fuerza necesaria para superarlas. Debido

a esto, sus puntos de ebullición aumentan al incrementarse su tamaño o sea su peso molecular. Los cuatro alcanos más pequeños tienen temperaturas de ebullición inferiores a la temperatura ambiente (25 °C), por lo que a dicha temperatura son gases. Como la intensidad de las fuerzas de Van der Waals depende del área de contacto entre las moléculas, las ramificaciones de un compuesto reducen su punto de ebullición porque éstas reducen su superficie de contacto. Si se considera a un pentano sin ramificaciones como un cigarro y a su isómero más ramificado como una pelota de tenis, se puede observar cómo las ramificaciones reducen la superficie de contacto entre las moléculas: dos cigarrillos hacen contacto en un área mayor que dos pelotas de tenis. Vale observar esta diferencia en la figura 5.6, donde se muestran dos alcanos ramificados, pero uno con más ramificaciones que el otro.

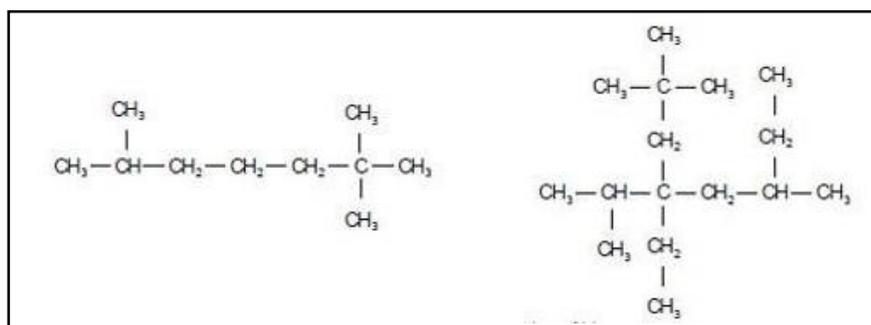


Figura 5.6: Alcanos ramificados.

Fuente: químicaorgánica.net

Los alquenos y los alquinos tienen propiedades físicas similares a las de los alcanos. Los alquinos son más lineales que los alquenos, lo que implica que los alquinos tengan interacciones de Van der Waals más fuertes. En consecuencia, un alquino tiene un punto de ebullición más elevado que un alqueno con el mismo número de átomos de carbono.

Los puntos de ebullición de los halogenuros de alquilo también se elevan al aumentar su masa molecular debido al incremento de las fuerzas de Van der Waals. Sin embargo, los puntos de ebullición de estos compuestos también se ven afectados por el enlace polar C-X (donde X indica N, O, F, Cl o Br). Las moléculas con enlaces polares se atraen entre sí porque se pueden alinear a sí mismas, de tal manera que el extremo positivo de una de ellas queda junto al extremo negativo de otra. Estas fuerzas de atracción, llamadas interacciones dipolo-dipolo, son más fuertes que las fuerzas de Van der Waals. Para que hierva un halogenuro de alquilo se deben superar tanto las fuerzas de Van der Waals como las interacciones dipolo-dipolo. Cuanto más grande es el tamaño del átomo del halogenuro, más grande es el tamaño de su nube de electrones, y cuanto más grande es ésta y más fuertes son las interacciones de Van der Waals.

### Solubilidad

Como ya se vio en unidades anteriores, la regla general que determina la solubilidad es “similares se disuelven entre sí”. En otras palabras, los compuestos polares se disuelven en solventes polares, y los compuestos no polares se disuelven en solventes no polares.

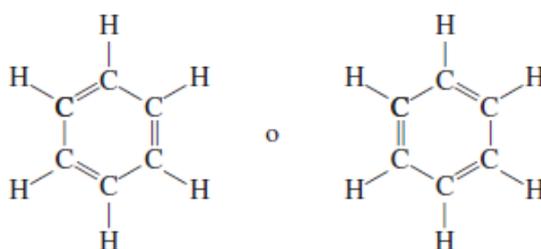
Los hidrocarburos son no polares, lo que causa que sean solubles en solventes no polares e insolubles en solventes polares como el agua. La densidad de los alcanos se incrementa al aumentar la masa molecular, pero incluso un alcano de 30 carbonos es menos denso que el agua. Esto significa que la mezcla de un alcano con agua se separará en dos capas distintas, con el alcano flotando en la parte superior por ser menos denso.

Los halogenuros de alquilo tienen cierto carácter polar, pero sólo los fluoruros de alquilo cuentan con un átomo capaz de formar un puente de hidrógeno con el agua. Esto quiere decir

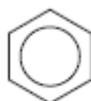
que los fluoruros de alquilo son los halogenuros de alquilo más solubles en agua. Los otros halogenuros de alquilo son menos solubles en agua.

### HIDROCARBUROS AROMÁTICOS

El benceno, compuesto base de esta gran familia de sustancias orgánicas, fue descubierto por Michael Faraday en 1826. Durante más de 40 años, los químicos estuvieron preocupados por encontrar su estructura molecular. A pesar del pequeño número de átomos en la molécula, hay muy pocas formas de representar la estructura del benceno sin violar la tetravalencia del carbono. Sin embargo, la mayoría de las estructuras propuestas fueron rechazadas porque no podían explicar las propiedades conocidas del benceno. Hacia 1865, August Kekulé dedujo que la mejor representación de la molécula del benceno podría ser una estructura anular, es decir, un compuesto cíclico que consta de seis átomos de carbono:

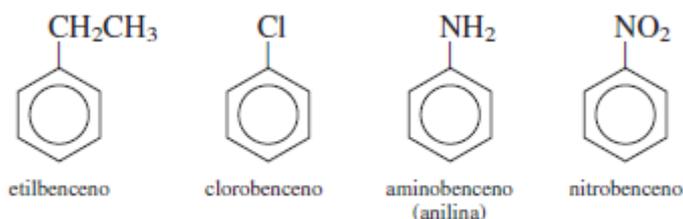


La mejor manera de representar las propiedades del benceno es mediante las dos estructuras resonantes anteriores. Una forma simplificada de representarlo es la siguiente:

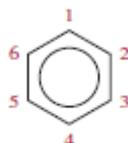


#### **Nomenclatura de los compuestos aromáticos**

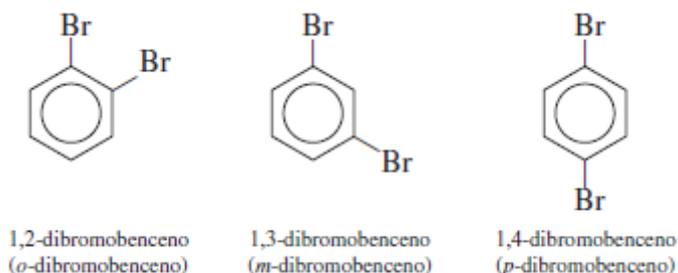
La nomenclatura de los bencenos monosustituídos, es decir, bencenos en los que un átomo de H se ha reemplazado por otro átomo o grupo de átomos, es muy sencilla, como se muestra a continuación:



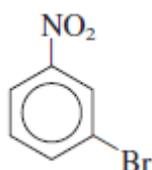
Si está presente más de un sustituyente, ya se debe indicar la localización del segundo grupo respecto del primero. La forma sistemática de lograr esto es numerando los átomos de carbono como sigue:



Hay tres diferentes dibromobencenos posibles:

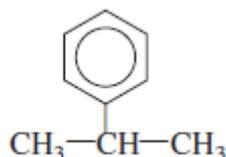


Los prefijos *o*- (orto-), *m*- (meta-) y *p*- (para-) se utilizan para indicar las posiciones relativas de los dos grupos sustituyentes, como se muestra en el caso de los dibromobencenos. Los compuestos en que los dos grupos sustituyentes son diferentes se denominan nombrando los sustituyentes en orden alfabético seguidos de la palabra benceno.



Así, el compuesto anterior se nombra 3-bromonitrobenzeno o *m*-bromonitrobenzeno.

Por último, cabe hacer notar que el grupo que contiene un anillo bencénico menos un átomo de hidrógeno recibe el nombre de grupo fenilo. Por tanto, la siguiente molécula se denomina 2-fenilpropano:



Por otro lado, existe una gran cantidad de compuestos que se pueden generar a partir de sustancias en las que los anillos bencénicos están fusionados. En la figura 5.7 se ilustran algunos de estos hidrocarburos aromáticos policíclicos.

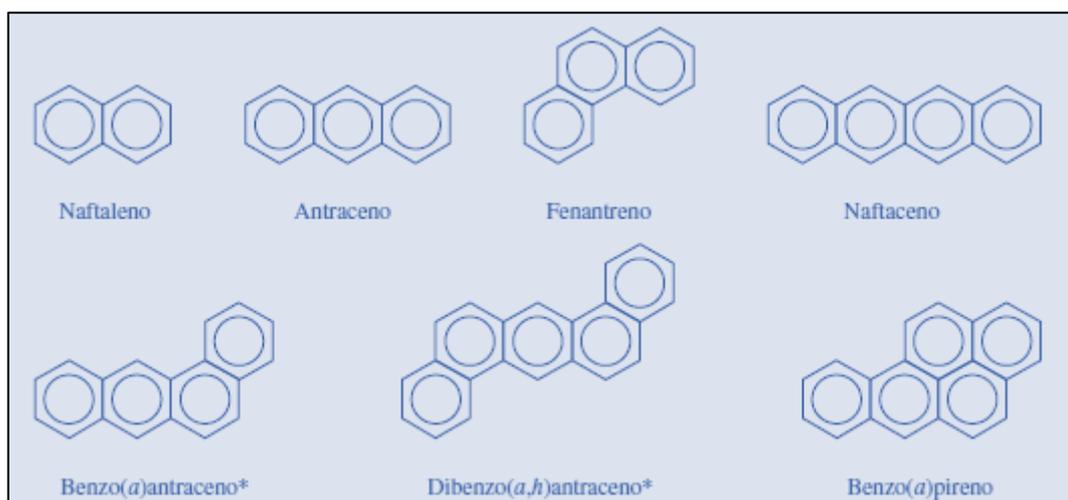
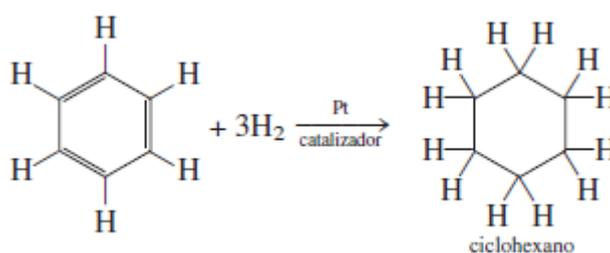


Figura 5.7: Hidrocarburos aromáticos.  
 Fuente: Química, R. Chang. 10° Edición.

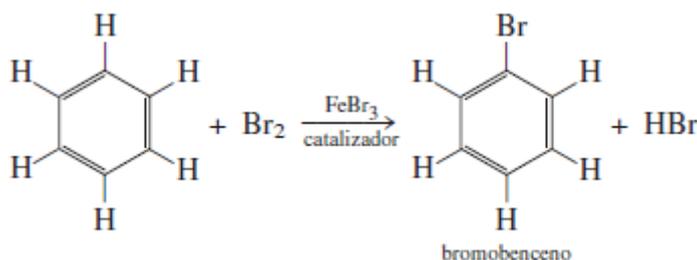
El más conocido de estos compuestos es el naftaleno, que se utiliza en las bolitas de naftalina. Éste y otros compuestos semejantes están presentes en el alquitrán de hulla. Algunos compuestos con varios anillos son poderosos carcinógenos, es decir, que pueden causar cáncer en humanos y otros animales.

### Propiedades y reacciones de los compuestos aromáticos

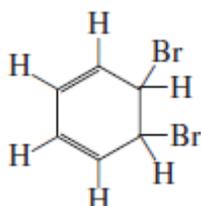
El benceno es un líquido incoloro, inflamable, que se obtiene sobre todo del petróleo y del alquitrán de hulla. Es probable que la propiedad química más notable del benceno sea su relativa baja reactividad. A pesar de que tiene la misma fórmula empírica que el acetileno ( $\text{CH}$ ) y un alto grado de insaturación, es mucho menos reactivo que el etileno o el acetileno. La estabilidad del benceno es resultado de la deslocalización electrónica. De hecho, es posible, aunque muy difícil, hidrogenar el benceno. La siguiente reacción se lleva a cabo a temperaturas y presiones mucho mayores que las que se utilizan con los alquenos:



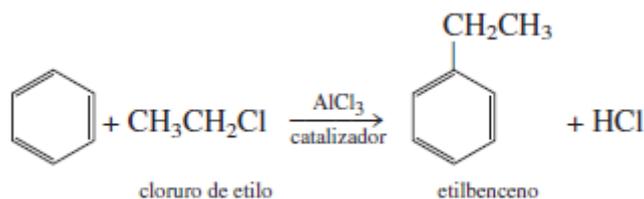
Antes se estudió que los alquenos reaccionan en forma rápida con los halógenos para formar productos de adición, porque el enlace  $\text{C}=\text{C}$  se puede romper con facilidad. La reacción más común de los halógenos con el benceno es una reacción de sustitución, en la cual un átomo o un grupo de átomos reemplaza a un átomo o grupo de átomos de otra molécula. Por ejemplo,



Vale observar que si la reacción fuera de adición, se destruiría la deslocalización electrónica en el producto, como se muestra a continuación; y la molécula no tendría la baja reactividad química característica de los compuestos aromáticos.



Es posible introducir grupos alquilo en el sistema cíclico haciendo reaccionar el benceno con un halogenuro de alquilo y utilizando  $\text{AlCl}_3$  como catalizador:



El benceno es una molécula muy simétrica y no polar, pero el sistema electrónico aromático es muy polarizable. Esto quiere decir que la nube electrónica puede deformarse fácilmente y crear momentos dipolares que interactúan con moléculas vecinas. Por esta razón el PE del benceno (80,1 °C) y del tolueno (110,6 °C) son mayores que la de los alcanos de peso molar similar, por ejemplo, el n-hexano tiene un PE = 69,0 °C. El resto de los derivados del benceno tendrán PE dependiente del tipo de sustituyente que presenten.

### ALCOHOLES Y FENOLES

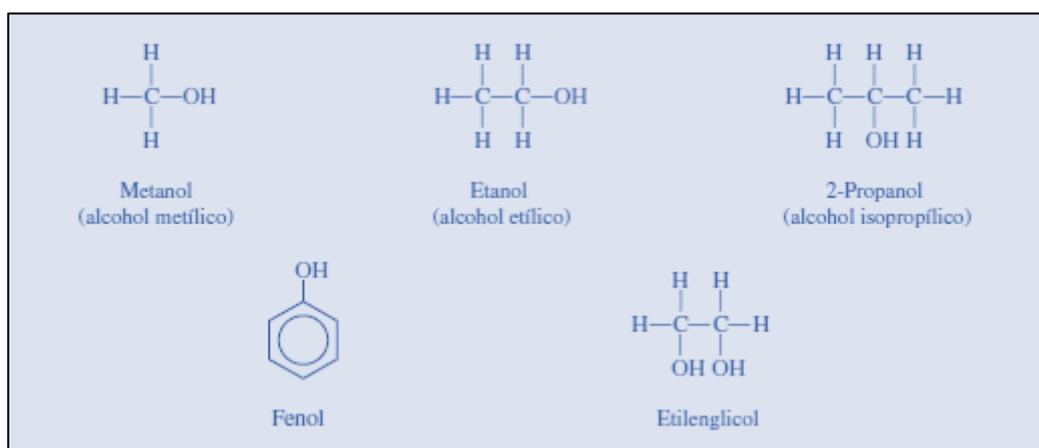


Figura 5.8: Alcoholes comunes.

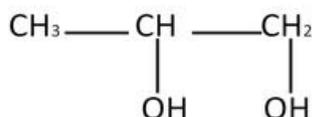
Fuente: Química, R. Chang. 10ª Edición.

Todos los alcoholes contienen el grupo funcional hidroxilo, -OH. En la figura 5.8 se muestran las estructuras de algunos alcoholes comunes. Tienen la fórmula general R-OH. Los fenoles tienen el mismo grupo funcional pero unido a un anillo aromático.

#### **Nomenclatura de los alcoholes**

Según la nomenclatura IUPAC, los alcoholes se nombran agregándole la terminación -ol, al nombre del hidrocarburo principal. De ahí que si al metano se le agrega el grupo -OH, pasa a llamarse metanol. Si la molécula presenta 2, 3 o más grupos -OH, al sufijo -ol, se le agrega di, tri, ... Por ejemplo, el etilenglicol si se nombra con la nomenclatura IUPAC, sería etanodiol.

Vale aclarar que para cadenas de carbonos más largas se debe agregar antes del nombre -ol el número de los carbonos donde se insertaron los grupos -OH. Por ejemplo, el siguiente compuesto se llama propano-1,2-diol o propilenglicol.



En cambio, en la nomenclatura tradicional se nombra "alcohol más la terminación -ico en el nombre del hidrocarburo principal". Por tanto, que el metanol, también se puede nombrar alcohol metílico.



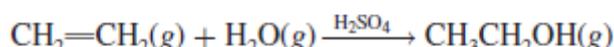
### Obtención de los alcoholes

El alcohol etílico o etanol es el más conocido. Es un producto biológico de la fermentación del azúcar o el almidón. En ausencia de oxígeno, las enzimas presentes en los cultivos bacterianos o en la levadura catalizan la reacción:

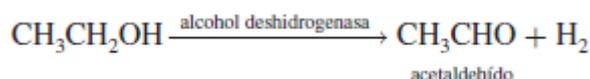


Este proceso libera energía que los microorganismos, a su vez, utilizan para su crecimiento y otras funciones.

El etanol se prepara de manera comercial mediante una reacción de adición en la que el agua se combina con etileno a unos 280 °C y 300 atm:



El etanol tiene incontables aplicaciones como disolvente de compuestos orgánicos y como materia prima en la manufactura de colorantes, fármacos, cosméticos y explosivos. También es un constituyente de las bebidas alcohólicas. El etanol es el único de los alcoholes de cadena lineal que no es tóxico (o, mejor dicho, el menos tóxico); el cuerpo humano produce una enzima llamada alcohol deshidrogenasa, que ayuda a metabolizar el etanol oxidándolo hasta acetaldehído:

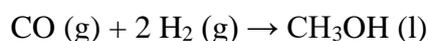


Esta ecuación es una versión simplificada de lo que ocurre en realidad; otras moléculas toman los átomos de H, de modo que no hay desprendimiento de H<sub>2</sub> gaseoso.

El etanol también se puede oxidar hasta acetaldehído o ácido acético por la acción de agentes oxidantes inorgánicos, como el dicromato en medio ácido:



Se dice que el etanol es un alcohol alifático porque se deriva de un alcano (etano). El alcohol alifático más sencillo es el metanol, CH<sub>3</sub>OH. Se conoce como alcohol de madera, pues antiguamente se preparaba por la destilación seca de la madera; en la actualidad se sintetiza en forma industrial por la reacción de monóxido de carbono e hidrógeno molecular a altas temperaturas y presiones:



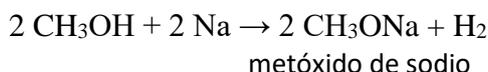
### Propiedades físicas de los alcoholes

Debido a que sus moléculas son capaces de formar puente de hidrogeno sus puntos de ebullición son mayores que los hidrocarburos de igual peso molar. Los alcoholes de hasta 5 átomos de carbono son solubles en agua, a medida que aumenta la cadena orgánica el alcohol se parece más a un hidrocarburo y su solubilidad disminuye.

### Propiedades químicas y reacciones de los alcoholes

El metanol es muy tóxico. La ingestión de unos cuantos mililitros puede causar náuseas y ceguera. A menudo el etanol para uso industrial se mezcla con metanol para evitar que la gente lo beba. El etanol que contiene metanol u otras sustancias tóxicas se llama alcohol desnaturalizado.

Los alcoholes son ácidos muy débiles; no reaccionan con bases fuertes, como NaOH. Los metales alcalinos reaccionan con los alcoholes para producir hidrógeno:

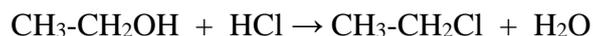


Otros dos alcoholes alifáticos familiares son el 2-propanol (o isopropanol), conocido como alcohol de fricción, y el etilenglicol, que se utiliza como anticongelante. Como se puede observar en la figura 8.8, el etilenglicol tiene dos grupos –OH, por lo que puede formar enlaces por puente de hidrógeno con las moléculas de agua de modo más eficiente que los compuestos con un solo grupo –OH. La mayor parte de los alcoholes, en especial los que tienen masas molares pequeñas, son muy inflamables.

Otra de las reacciones que realizan los alcoholes es la deshidratación a alquenos, como lo dice el nombre, el alcohol pierde una molécula de H<sub>2</sub>O y se transforma en un alqueno. Todas las reacciones comienzan con la protonación del grupo hidroxilo (el alcohol actúa como base).



También pueden convertirse en halogenuros de alquilo de la siguiente manera:



También pueden llevar a cabo una reacción de oxidación transformándose en aldehídos o ácidos carboxílicos. El alcohol que participe una oxidación debe tener al menos un H unido al carbono que tiene el grupo -OH.

### ÁCIDOS CARBOXÍLICOS

Los ácidos carboxílicos son los ácidos orgánicos más importantes; su grupo funcional es la función carboxilo. Este nombre surge de la contracción de los siguientes grupos funcionales: el grupo carbonilo y el grupo hidroxilo, como se muestra en la figura 5.9.

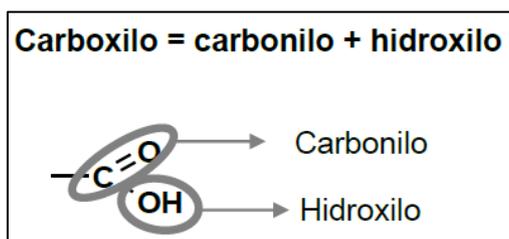


Figura 5.9: Grupo carboxilo.

Fuente: Química orgánica y biológica. Facultad de ciencias forestales. UNSE.

#### **Nomenclatura de los ácidos carboxílicos**

La fórmula general para los ácidos carboxílicos se puede escribir en la forma desarrollada como se muestra en la figura 5.10, o en la forma condensada o simplificada que es de estilo R-COOH, o R-CO<sub>2</sub>H. Por ejemplo, la forma condensada del ácido acético es CH<sub>3</sub>COOH, y la del ácido butírico es CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>COOH o C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>COOH.

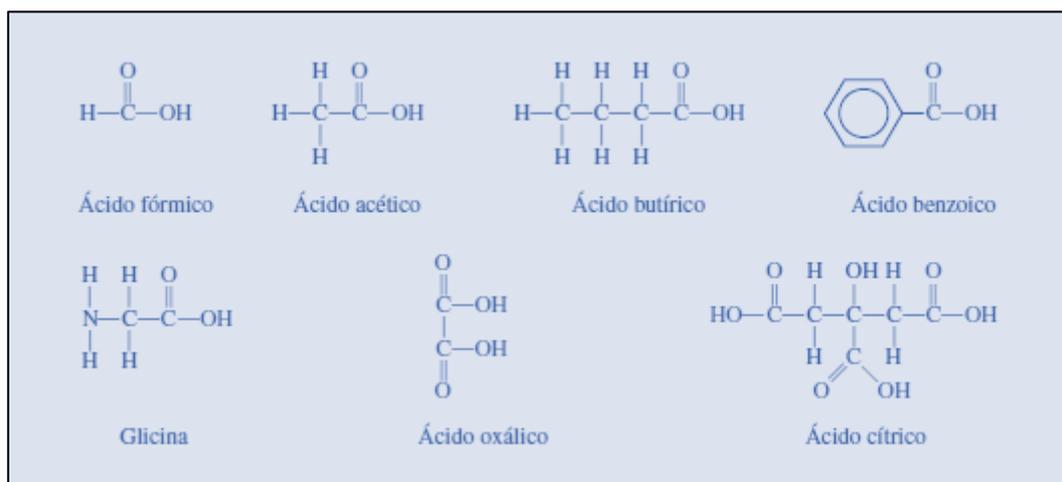


Figura 5.10: Ácidos carboxílicos comunes.

Fuente: Química, R. Chang. 10ª Edición.

Debido a su abundancia en la naturaleza los ácidos son conocidos desde tiempos remotos. Por ello muchos tienen nombres comunes que derivan del latín o griego indicando la fuente de donde provienen. El nombre IUPAC se obtiene reemplazando la terminación *-o* del alcano correspondiente por el sufijo *-oico* anteponiendo la palabra "ácido". Los ácidos sustituidos se nombran de dos formas: según el sistema IUPAC se numera la cadena comenzando por el átomo de carbono carboxílico y los sustituyentes se localizan de la manera usual.

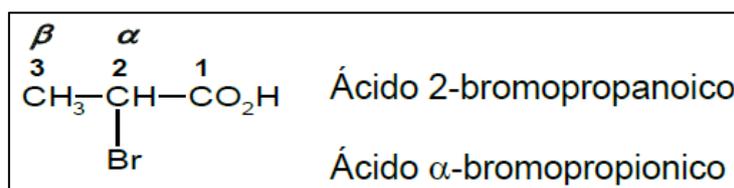


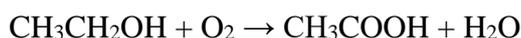
Figura 5.11: Ácido carboxílico sustituido.

Fuente: Química orgánica y biológica. Facultad de ciencias forestales. UNSE.

Si se utiliza el nombre común del ácido, los sustituyentes se localizan con letras griegas, empezando por el carbono  $\alpha$ , que es el carbono adyacente al portador de la función carboxilo. Como se muestra en el ejemplo de la figura 5.11.

#### Obtención de los ácidos carboxílicos

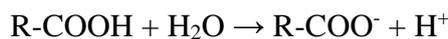
En condiciones apropiadas, tanto los alcoholes como los aldehídos se pueden oxidar hasta ácidos carboxílicos, como se puede observar en las siguientes reacciones:



De hecho, estas reacciones se llevan a cabo tan rápido que el vino almacenado debe protegerse del oxígeno atmosférico, ya que de otra manera pronto se convierte en vinagre, debido a la formación de ácido acético.

#### Acidez de los ácidos carboxílicos

Un ácido carboxílico se puede disociar en agua para dar lugar a un protón y un ion carboxilato.



$$k_a = \frac{[H^+][R-COO^-]}{[R-COOH]}$$

A la constante de equilibrio de esta reacción se la denomina constante de acidez:  $K_a$ , que ya se conoció en otras unidades. El  $pK_a$  es el logaritmo cambiado de signo de la  $K_a$ . Para indicar la acidez relativa de los distintos ácidos generalmente se utiliza el valor de  $pK_a$ . En la tabla 5.2 se muestran los valores de  $pK_a$  de algunos ácidos carboxílicos.

Tabla 5.2: $pK_a$ de diferentes ácidos carboxílicos		
Compuesto	Fórmula	$pK_a$
Ac. fórmico	HCOOH	3,68
Ac. acético	CH <sub>3</sub> COOH	4,74
Ac. propanoico	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH	4,85
Ac. butanoico	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOH	4,80
Ac. cloroacético	ClCH <sub>2</sub> COOH	2,82
Ac. diloroacético	Cl <sub>2</sub> CHCOOH	1,30
Ac. triloroacético	Cl <sub>3</sub> CCOOH	0,70
Ac. benzoico	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH	4,18

Vale aclarar que, a mayor valor de  $K_a$ , menor valor de  $pK_a$  y más fuerza ácida.

#### Propiedades físicas de los ácidos carboxílicos

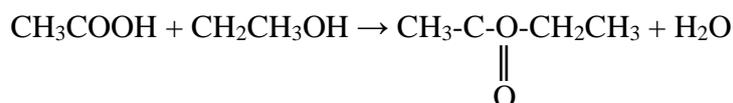
Los ácidos son moléculas polares. Forman dímeros, cuyas unidades están firmemente unidas a través de dos puentes hidrogeno. Debido a ello presentan altos puntos de ebullición (mayores incluso que los alcoholes) y son solubles en agua siempre que su peso molar sea bajo.

Los derivados de ácidos presentan diferencias en cuanto a sus propiedades físicas: los ésteres y los cloruros de ácido tienen punto de ebullición similar a los de los alcanos lineales de peso molar semejante. Las amidas tienen PE altos comparados con otros compuestos debido a los enlaces de hidrogeno que presentan las amidas primarias y secundarias.

#### Propiedades químicas y reacciones de los ácidos carboxílicos

Los ácidos carboxílicos abundan en la naturaleza; se encuentran tanto en el reino vegetal como en el animal. Todas las moléculas de proteínas están formadas por aminoácidos, una clase particular de ácidos carboxílicos que contienen un grupo amino ( $-NH_2$ ) y un grupo carboxilo ( $-COOH$ ). A diferencia de los ácidos inorgánicos HCl, HNO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, los ácidos carboxílicos por lo general son débiles.

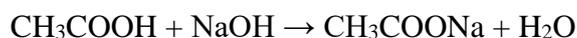
Reaccionan con los alcoholes para formar ésteres de olor agradable:



Como se puede observar, el ácido acético reacciona con el etanol para formar acetato de etilo.



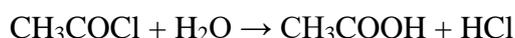
Otras reacciones comunes de los ácidos carboxílicos son las de neutralización, donde reaccionan con una base, para formar una sal, en el próximo ejemplo, el ácido acético y el hidróxido de sodio forman el acetato de sodio.



Por otra parte, también pueden tomar átomos de halógenos, y formar halogenuros de ácido, como es el cloruro de acetilo:



Los halogenuros de ácido son compuestos reactivos que se utilizan como intermediarios en la preparación de muchos otros compuestos orgánicos. Se hidrolizan en forma muy similar a la de muchos halogenuros no metálicos.



### ESTERES Y ÉTERES

#### Éteres

Los éteres contienen la unión R–O–R', donde R y R' son grupos derivados de hidrocarburos (alifáticos o aromáticos).

#### **Nomenclatura de los éteres**

Se denominan con el nombre de cada uno de los grupos alquilo, en orden alfabético, seguidos por la palabra éter. De esta forma, los compuestos que se muestran a continuación son el dimetil éter y el etilmetil éter, respectivamente.

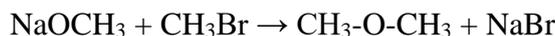


A su vez, al igual que los alcoholes, también se pueden nombrar comenzando con la palabra éter y agregando el sufijo -ico después de nombrar los grupos alquilo que intervienen. Los compuestos mostrados anteriormente serían el éter dimetílico y el éter etil metílico.

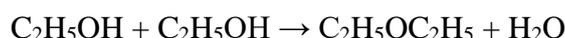
Vale aclarar que siempre el oxígeno está unido a un carbono, y a su vez el carbono está unido a otro carbono, o a tantos hidrógenos necesarios hasta completar su octeto, o sea, sus cuatro enlaces.

#### **Obtención de los éteres**

Se forman a partir de la reacción entre un alcóxido (que contiene el ion RO<sup>-</sup>) y un halogenuro de alquilo. En la siguiente reacción, reaccionan el metóxido de sodio con el bromuro de metilo, para dar éter dimetílico:



En cambio, el éter dietílico se prepara a nivel industrial al calentar el etanol con ácido sulfúrico a 140 °C:



Esta reacción es un ejemplo de una reacción de condensación, que se caracteriza por la unión de dos moléculas y la eliminación de una molécula pequeña, por lo general agua.

#### **Propiedades físicas de los éteres**

Son compuestos incoloros, con olores característicos, relativamente agradables. Tienen puntos de ebullición menores que los alcoholes con igual número de carbonos. Los éteres no

pueden formar puente hidrogeno entre sí, razón por la cual sus PE son bajos con respecto a los alcoholes. Sin embargo, pueden actuar como aceptores de puente hidrogeno con el agua razón por la cual son solubles en ella y en alcoholes (siempre y cuando sus PM sean bajos)

### Propiedades químicas y reacciones de los éteres

Al igual que los alcoholes, los éteres son muy inflamables. Cuando se dejan al aire en reposo, tienen la tendencia de formar, lentamente, peróxidos explosivos:

Los peróxidos contienen el enlace  $-O-O-$ ; el peróxido más sencillo es el peróxido de hidrógeno,  $H_2O_2$ . El éter dietílico, conocido como “éter”, se utilizó como anestésico durante muchos años. Produce inconsciencia por depresión de la actividad del sistema nervioso central. Las principales desventajas del éter dietílico son sus efectos irritantes en el sistema respiratorio, que causan náuseas y vómito posterior a la anestesia. Es preferible utilizar como anestésico el “neotil” o éter metil propílico,  $CH_3-O-CH_2CH_2CH_3$ , porque casi no presenta efectos secundarios.

Por otra parte, Los éteres son compuestos relativamente inertes. La mayoría de los compuestos orgánicos son solubles en éter, razón por la cual son los solventes por excelencia.

Dado que son compuestos poco reactivos uno de los pocos cambios químicos que experimentan es la ruptura, donde en reacción con un halogenuro de hidrógeno, se divide en un halogenuro de alquilo y en un alcohol, como se muestra en la figura 5.12.

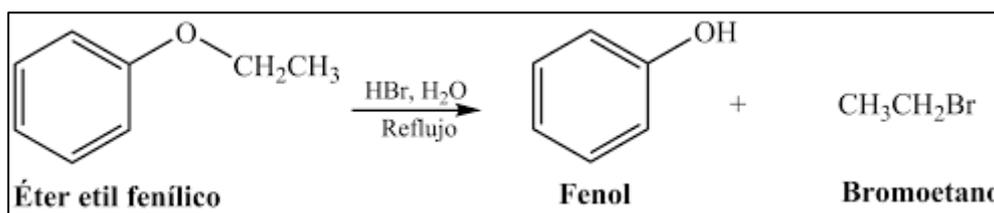


Figura 5.12: Ruptura de éter.

Fuente: Química, R. Chang. 10ª Edición.

### Ésteres

Los ésteres tienen la fórmula general  $R'COOR$ , donde  $R'$  puede ser H o un grupo derivado de un hidrocarburo, y  $R$  es un grupo derivado de un hidrocarburo.

Los ésteres se utilizan en la manufactura de perfumes y como agentes saborizantes en las industrias de confitería y de bebidas gaseosas. Muchas frutas deben su olor y sabor característicos a la presencia de pequeñas cantidades de ésteres. Por ejemplo, los plátanos contienen acetato de 3-metilbutilo; las naranjas, acetato de octilo, y las manzanas, butirato de metilo.

### Nomenclatura de los ésteres

Como ya se sabe, los ésteres proceden de condensar ácidos con alcoholes y se nombran como sales del ácido del que provienen. La nomenclatura IUPAC cambia la terminación -oico del ácido por -oato, terminando con el nombre del grupo alquilo unido al oxígeno. Se muestran ejemplos en la figura 5.13.

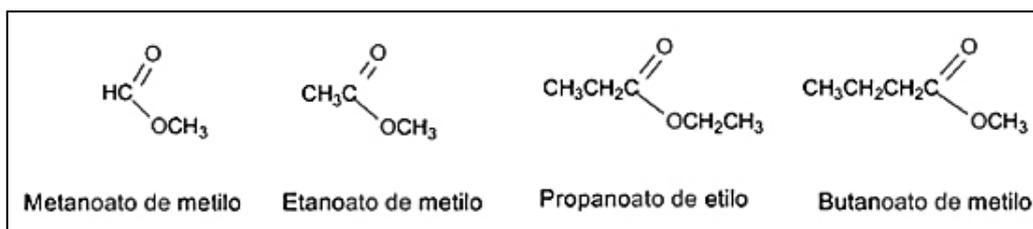


Figura 5.13: Ejemplos de ésteres.  
 Fuente: <http://centros.edu.xunta.es/>.

Por otro lado, el grupo funcional éster (-COOR) es un grupo prioritario frente a otros grupos presentes en la molécula, como son los grupos aminas, alcoholes, cetonas, aldehídos, nitrilos, amidas y haluros de alcanoilo. Estos grupos se nombran como sustituyentes siendo el éster el grupo funcional. En cambio, si el otro grupo sustituyente es el grupo ácido (-COOH), el éster dejaría de ser el principal, y se nombraría como un sustituyente del ácido, nombrándolo alcocarbonil-. Por último, si el éster está unido a un hidrocarburo cíclico, se nombra el ciclo como cadena principal, empleando la terminación carboxilato después del nombre del ciclo. Todas estas particularidades se muestran en la figura 5.14.

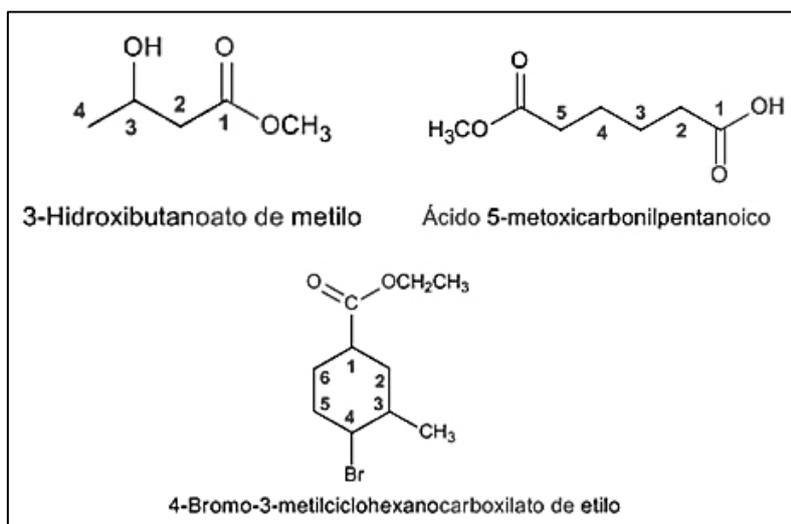
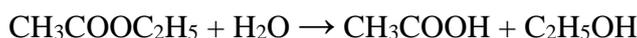


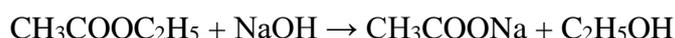
Figura 5.14: Nomenclatura de ésteres.  
 Fuente: <http://centros.edu.xunta.es/>.

### Propiedades químicas y reacciones de los ésteres

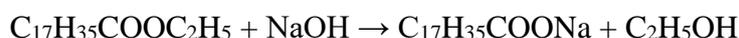
Como ya se sabe, el grupo funcional en los ésteres es el grupo -COOR. En presencia de un catalizador ácido, como el HCl, los ésteres se hidrolizan para formar un ácido carboxílico y un alcohol. Por ejemplo, en disolución ácida, el acetato de etilo se hidroliza como se muestra a continuación, formando ácido acético y etanol:



Sin embargo, esta reacción no llega a completarse porque también ocurre la reacción inversa en forma apreciable, es decir, la formación de un éster a partir de un alcohol y un ácido. Por otro lado, cuando en lugar de H<sub>2</sub>O se utiliza una disolución de NaOH en la hidrólisis, el acetato de sodio no reacciona con el etanol, por lo que la reacción sí se completa de izquierda a derecha:



Por esta razón, la hidrólisis de los ésteres por lo general se realiza en disoluciones básicas. Observe que el NaOH no actúa como catalizador, sino que se consume durante la reacción. El término saponificación (que significa hacer jabón) se utilizó originalmente para describir la hidrólisis alcalina de los ésteres de los ácidos grasos para producir moléculas de jabón (estearato de sodio):



Saponificación es un término que actualmente se ha generalizado para la hidrólisis alcalina de cualquier tipo de éster.

## AMINAS Y AMIDAS

### Aminas

Las aminas son compuestos orgánicos relacionados con el amoníaco donde se ha reemplazado uno, dos o tres hidrógenos del amoníaco por grupos orgánicos alquilo o arilo. De acuerdo con el número de radicales alquilo que presentan pueden clasificarse como aminas primarias ( $R-NH_2$ ), secundarias ( $R_2-NH$ ) o terciarias ( $R_3-N$ ).

### **Nomenclatura de las aminas**

Según el sistema de nomenclatura común se nombran especificando los grupos que se hallan unidos al nitrógeno y añadiendo el sufijo – amina. Como ejemplo, se presenta la figura 5.15.

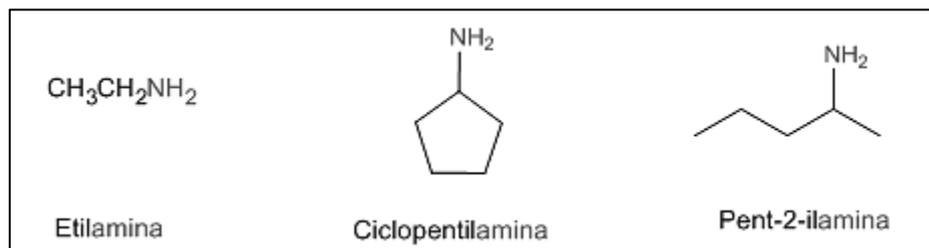
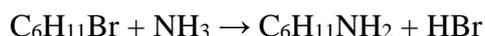


Figura 5.15: Nomenclatura de las aminas.  
Fuente: <http://www.quimicaorganica.org/>.

En cambio, según la IUPAC el grupo amino,  $-NH_2$ , se nombra como sustituyente. De esta forma, los compuestos presentados anteriormente, se nombran aminoetano, aminociclopentano y 2-aminopentano.

### **Obtención de las aminas**

Las aminas se forman, por lo general, mediante una reacción de alquilación directa, donde el halógeno de un halogenuro de alquilo se sustituye por el amoníaco, formando la amina, y el halogenuro de hidrógeno correspondiente. Por ejemplo,



### **Propiedades físicas de las aminas**

De manera general, las aminas presentan puntos de ebullición mayores que alcanos de peso molares similares pero menores que la de alcoholes. Las aminas primarias y secundarias pueden actuar como donoras yceptoras de puente Hidrogeno por lo cual presentan mayores PE y son solubles en agua. Las aminas terciarias carecen de este tipo de interacción, solo actúan comoceptoras y presentan menores PE.



### Basicidad de las aminas

La tendencia del átomo de nitrógeno a compartir su par electrónico libre caracteriza el comportamiento químico de las aminas, que son bases de Brönsted, al igual que el amoníaco.

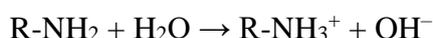
Como se realizó para los ácidos, resulta más práctico expresar la basicidad de las aminas con los valores de  $pK_b$ . En la tabla 5.3 se indican los valores de  $pK_b$  de algunas aminas representativas.

Tabla 5.3: $pK_b$ de diferentes aminas		
Compuesto	$K_b$	$pK_b$
Amoníaco	$1,8 \times 10^{-5}$	4,74
Metilamina	$4,3 \times 10^{-4}$	3,36
Dimetilamina	$5,3 \times 10^{-4}$	3,28
Trimetilamina	$5,5 \times 10^{-5}$	4,26
Etilamina	$4,4 \times 10^{-4}$	3,36
Anilina	$6,1 \times 10^{-10}$	9,40
N-metil-anilina	$11,6 \times 10^{-10}$	9,21
p-cloroanilina	$1,0 \times 10^{-10}$	10,0

Vale aclarar que a mayor valor de  $K_b$ , menor valor de  $pK_b$  y más fuerza básica.

### Propiedades químicas de las aminas

Como ya se mencionó, las aminas son bases y al igual que el amoníaco, la reacción de las aminas con el agua es:



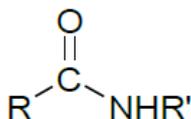
Además, como todas las bases, las aminas forman sales cuando reaccionan con ácidos, en el ejemplo que se muestra a continuación, la etilamina reacciona con el ácido clorhídrico para formar el cloruro de etilamonio.



Las aminas aromáticas se utilizan sobre todo en la manufactura de colorantes. La anilina, la más sencilla de las aminas aromáticas, es en sí misma un compuesto tóxico, y numerosas aminas aromáticas, como la 2-naftilamina y la bencidina, son poderosos carcinógenos

### Amidas

Las amidas son compuestos derivados de los ácidos carboxílicos, y están formadas por el siguiente grupo funcional:  $-CONHR$ . Donde R es un grupo derivado de un hidrocarburo. Estructuralmente, las amidas son como se muestran a continuación.



Entre las amidas merece citarse la carbodiamida o urea, que puede considerarse como la diamida del ácido carbónico:  $H_2N-O-NH_2$ . Es el producto de excreción nitrogenado más importante, tanto en el hombre como en los animales. Por otra parte, tiene también un gran

interés técnico, por su utilización como abono, así como en la industria farmacéutica, y sobre todo para la fabricación de resinas y materiales plásticos.

### Nomenclatura de las amidas

Como las amidas son derivados de los ácidos carboxílicos, se sustituye la terminación -oico del ácido, por -amida. Como se puede apreciar en los ejemplos presentados en la figura 5.16.

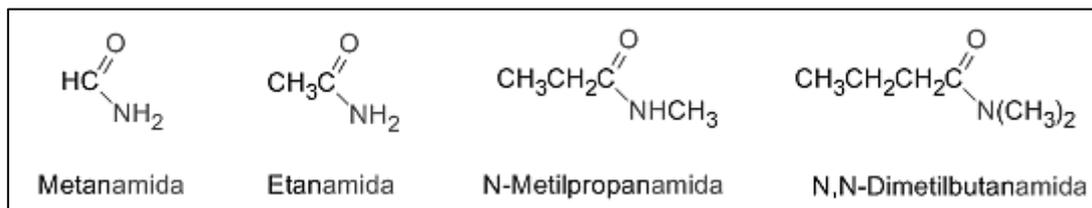


Figura 5.16: Nomenclatura de las amidas.  
 Fuente: <http://www.quimicaorganica.org/>.

### Preparación de las amidas

Las mismas surgen, por lo general, de la reacción de un ácido carboxílico con el amoníaco. Como se puede ver en el siguiente ejemplo, donde el ácido etanoico reacciona con el amoníaco para formar la etanamida.



Para que se comprenda mejor, en la figura 5.17 se desarrolla el mismo ejemplo, pero con las estructuras moleculares de los compuestos que intervienen.

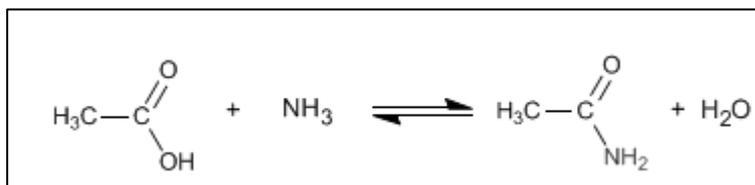


Figura 5.17: Formación de la etanamida.  
 Fuente: <http://www.quimicaorganica.org/>.

### Propiedades físicas de las amidas

El grupo funcional amida es bastante polar, lo que explica que las amidas primarias, excepto la formamida, sean sólidas y solubles en agua. Sus puntos de ebullición son bastante más altos que los de los ácidos correspondientes, debido a una gran asociación intermolecular a través de enlaces de hidrógeno, entre el oxígeno negativo y los enlaces N—H, mucho más polarizados que en las aminas. Los puntos de fusión y de ebullición de las amidas secundarias son bastante menores, debido principalmente al impedimento estérico del radical unido al nitrógeno para la asociación. Como es natural, las amidas terciarias (sin enlaces N—H) no pueden asociarse, por lo que son líquidos normales, con puntos de fusión y de ebullición de acuerdo con su peso molecular.

### Propiedades químicas de las amidas

Las reacciones químicas de las amidas son las generales de los derivados funcionales de ácidos carboxílicos, si bien son entre éstos, de los compuestos menos reactivos. Así, por ejemplo, la reacción de hidrólisis suele ser muy lenta, por lo que hay que llevarla a cabo calentando y en medios ácidos o básicos; su mecanismo es análogo al de la hidrólisis de los ésteres.

Por otra parte, las amidas tienen también algunas reacciones químicas parecidas a las de las aminas.

### ALDEHIDOS Y CETONAS

Tanto los aldehídos como las cetonas son compuestos orgánicos que presentan el grupo carbonilo. Las cetonas tienen dos grupos alquilo (o arilo) enlazados al grupo carbonilo, mientras que los aldehídos tienen un grupo alquilo (o arilo) y un átomo de hidrógeno unidos al grupo carbonilo. Esto se muestra en la figura 5.18.

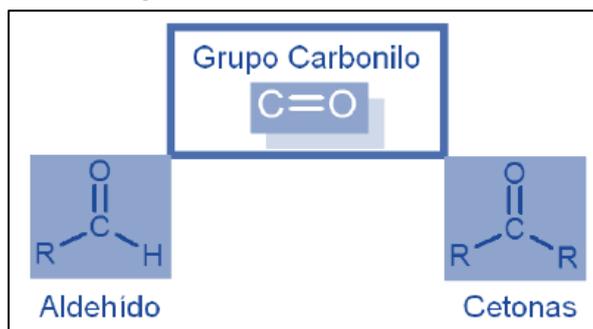


Figura 5.18: Aldehídos y cetonas.

Fuente: Química orgánica y biológica. Facultad de ciencias forestales. UNSE.

#### Nomenclatura de aldehídos y cetonas

Los aldehídos se nombran reemplazando la terminación -ano del alcano correspondiente por -al. No es necesario especificar la posición del grupo aldehído, puesto que ocupa el extremo de la cadena. Cuando la cadena contiene dos funciones aldehído se emplea el sufijo -dial. En la figura 5.19 se muestran algunos ejemplos.

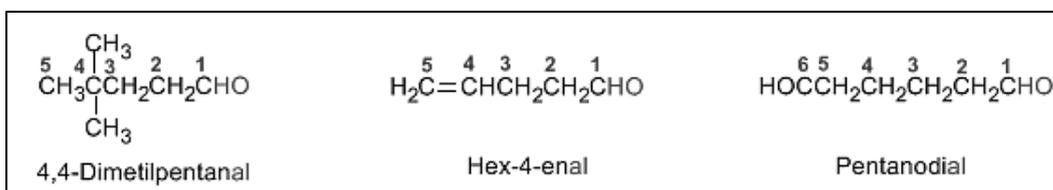


Figura 5.19: Nomenclatura de los aldehídos.

Fuente: <http://www.quimicaorganica.org/>.

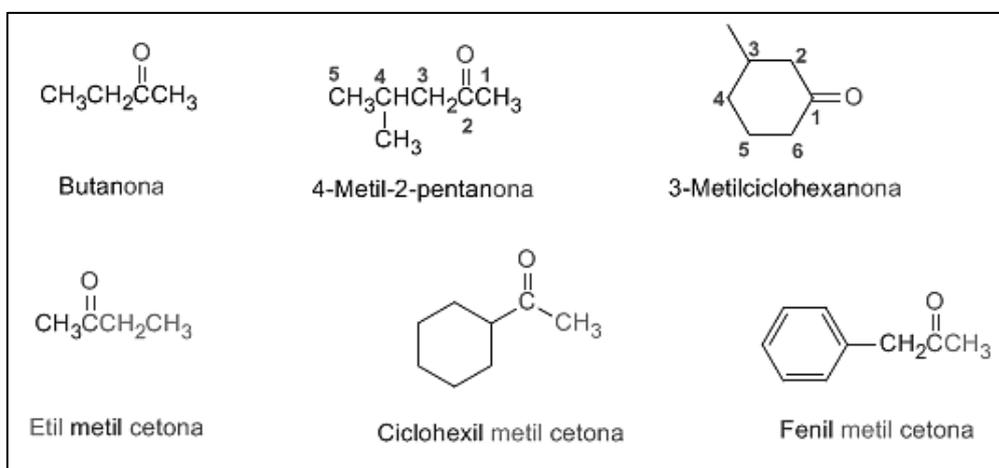


Figura 5.20: Nomenclatura de las cetonas.

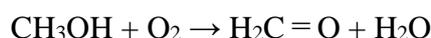
Fuente: <http://www.quimicaorganica.org/>.



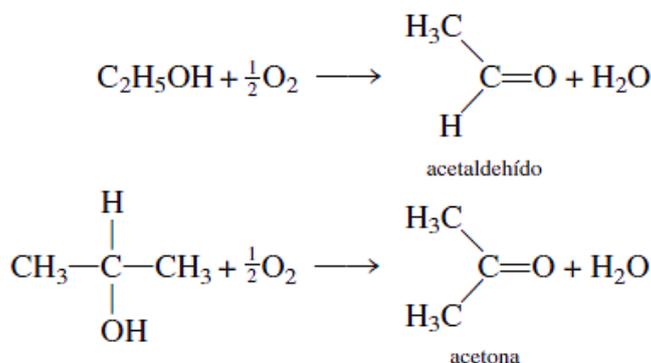
Las cetonas se nombran sustituyendo la terminación -ano del alcano con igual longitud de cadena por -ona. Se toma como cadena principal la de mayor longitud que contiene el grupo carbonilo y se numera para que éste tome el localizador más bajo. También existe un segundo tipo de nomenclatura para las cetonas, que consiste en nombrar las cadenas como sustituyentes, ordenándolas alfabéticamente y terminando el nombre con la palabra cetona. Ambas nomenclaturas se muestran en los ejemplos presentados en la figura 5.20.

### Obtención de aldehídos y cetonas

En condiciones suaves de oxidación es posible convertir los alcoholes en aldehídos y cetonas, como se muestra en las siguientes reacciones:



En este caso, el metanol o alcohol metílico sufre una oxidación (reacciona con el oxígeno) y forma el formaldehído (metanal).



En estos dos últimos casos, se puede observar como la oxidación del etanol (alcohol etílico) forma acetaldehído, también llamado etanal. Y como la oxidación del 2-propanol produce acetona, también llamada propanona.

### Propiedades físicas de aldehídos y cetonas

El punto de ebullición es mayor que en hidrocarburos del mismo peso molecular, pero menor que el de los alcoholes y ácidos carboxílicos comparables. Esto se debe a la formación de dipolos y a la ausencia de formación de puentes de hidrógeno intramoleculares en estos compuestos.

Los aldehídos y las cetonas no pueden formar enlaces intermoleculares de hidrógeno, porque al carecer de grupos hidroxilo (-OH) sus puntos de ebullición son más bajos que los alcoholes correspondientes. Sin embargo, los aldehídos y las cetonas pueden atraerse entre sí mediante las interacciones polar-polar de sus grupos carbonilo y sus puntos de ebullición son más altos que los de los alcanos correspondientes.

En cuanto a la solubilidad, a medida que aumenta el tamaño de las moléculas, disminuye la solubilidad de los compuestos. Los aldehídos y las cetonas pueden formar enlaces de hidrógeno con las moléculas polares del agua. Los primeros miembros de la serie (formaldehído, acetaldehído y acetona) son solubles en agua en todas las proporciones. A medida que aumenta la longitud de la cadena del hidrocarburo, la solubilidad en agua decrece. Cuando la cadena carbonada es superior a cinco o seis carbonos, la solubilidad de los aldehídos y de las cetonas es



muy baja. Como era de suponer, todos los aldehídos y cetonas son solubles en solventes no polares.

#### **Propiedades químicas de aldehídos y cetonas**

El aldehído más sencillo, el formaldehído ( $H_2C=O$ ), tiende a polimerizarse, es decir, las moléculas individuales se unen entre sí para formar un compuesto de alta masa molar. En esta acción se desprende mucho calor y a menudo es explosiva, de modo que por lo general el formaldehído se prepara y almacena en disolución acuosa (para reducir la concentración). Este líquido de olor bastante desagradable es una materia prima en la industria de los polímeros y en el laboratorio se le utiliza para la conservación de animales muertos.

Es interesante observar que los aldehídos de masa molar mayor, como el aldehído cinámico tienen un olor agradable y se emplean en la manufactura de perfumes.

Por lo general las cetonas son menos reactivas que los aldehídos. La cetona más sencilla es la acetona, un líquido de olor agradable que se utiliza principalmente como disolvente de compuestos orgánicos y como removedor de barniz de uñas.

### COMBUSTIBLES

Se denomina combustible a cualquier material capaz de liberar energía cuando se oxida de forma violenta con desprendimiento de calor. Supone la liberación de una energía de su forma potencial (energía de enlace) a una forma utilizable sea directamente (energía térmica) o indirectamente (energía mecánica en motores térmicos) dejando como residuo calor (energía térmica), dióxido de carbono y algún otro compuesto químico.

Entre los combustibles sólidos se incluyen el carbón, la madera y la turba natural. El carbón se quema en calderas para calentar agua que puede vaporizarse para mover máquinas a vapor o directamente para producir calor utilizable en usos térmicos (calefacción). La turba y la madera se utilizan principalmente para la calefacción doméstica e industrial, aunque la turba se ha utilizado para la generación de energía y las locomotoras o los barcos que utilizaban madera como combustible fueron comunes en el pasado.

Entre los combustibles comburenciales se encuentran el diésel (gasóleo o gasoil), el queroseno, la gasolina (nafta), y entre los gaseosos, el gas natural o los gases licuados de petróleo (GLP), representados por el propano y el butano. Las gasolinas, gasóleos y hasta los gases, se utilizan para motores de combustión interna o en calderas.

Los combustibles fósiles se formaron hace millones de años a partir de restos orgánicos de plantas y animales muertos. Durante miles de años de evolución del planeta, los restos de seres vivos que lo poblaron en sus distintas etapas se fueron depositando en el fondo de mares, lagos y otras masas de agua. Allí se cubrieron por sucesivas capas de sedimentos. Las reacciones químicas de descomposición y la presión ejercida por el peso de esas capas durante millones de años transformaron esos restos orgánicos en lo que ahora conocemos como combustibles fósiles. Son recursos no renovables, o mejor dicho, son renovables, pero harían falta millones de años para su renovación, y en algún momento, se acabarán. Por el contrario, otros combustibles, como la madera solamente requieren años para su renovación.

Químicamente, los combustibles fósiles son mezclas de compuestos orgánicos mineralizados que se extraen del subsuelo con el objetivo de producir energía por combustión. El origen de esos compuestos es materia orgánica que, tras millones de años, se ha mineralizado.

Se consideran combustibles fósiles al carbón, procedente de la madera de bosques del periodo carbonífero, el petróleo y el gas natural, procedentes de otros organismos.

Entre los combustibles fósiles más utilizados se encuentran los derivados del petróleo: gasolinas, naftas, gasóleo, fuelóleo; los gases procedentes del petróleo (GLP): butano, propano; el gas natural, y las diversas variedades del carbón: turba, hullas, lignitos, etc.

### La industria del petróleo

En el 2005, el petróleo cubrió un estimado de 40 % de los requerimientos energéticos de todo el mundo. El resto fue provisto por gas natural (aproximadamente 25 %), carbón (23 %), energía hidroeléctrica (4 %), energía nuclear (8 %) y otras fuentes (0,5 %). Además de la energía que produce, el petróleo es la fuente de numerosos compuestos químicos orgánicos utilizados para la fabricación de medicamentos, vestimenta y muchos otros productos.

Un líquido viscoso de color café oscuro se denomina petróleo crudo. El petróleo se formó en la corteza terrestre como una compleja mezcla de alcanos, alquenos, cicloalcanos y compuestos aromáticos en el transcurso de millones de años mediante la descomposición anaeróbica de la materia animal y vegetal a través de la acción bacteriana.

Los depósitos de petróleo están distribuidos en todo el mundo, pero principalmente se encuentran en Norteamérica, México, Rusia, China, Venezuela y, por supuesto, el Medio Oriente. La composición real del petróleo varía dependiendo de su ubicación. Por ejemplo, en Estados Unidos, el petróleo crudo está constituido en su mayoría por hidrocarburos alifáticos, en tanto que los principales componentes de los petróleos crudos del Oeste son en esencia aromáticos.

Aunque el petróleo contiene literalmente miles de compuestos hidrocarbonados, sus componentes se pueden clasificar de acuerdo con el intervalo de sus puntos de ebullición. Estos hidrocarburos se pueden separar con base en la masa molar mediante destilación fraccionada, se representa en la figura 5.21.

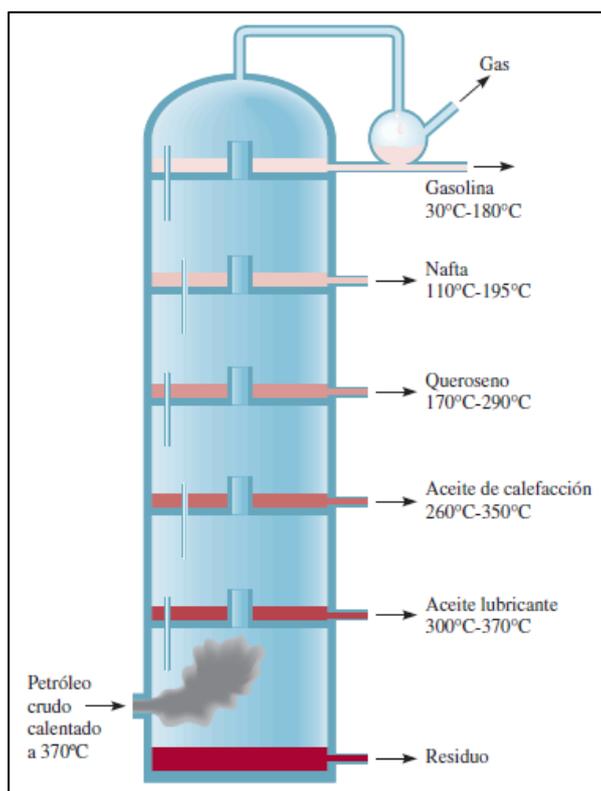


Figura 5.21: Destilación fraccionada del petróleo.

Fuente: Química, R. Chang. 10ª Edición.



El calentamiento del petróleo crudo a aproximadamente 400 °C lo convierte de un aceite viscoso en un vapor caliente y fluido; de esta forma ingresa a la torre de fraccionamiento. El vapor se eleva y se condensa en diferentes recipientes recolectores de acuerdo con las temperaturas a las cuales los distintos componentes del vapor se licuan. Algunos gases se extraen de la parte superior de la columna, y el crudo residual no vaporizado se recoge en la parte inferior. En la tabla 5.4, se enumeran algunas de estas fracciones con las características más principales.

Tabla 5.4: Principales fracciones del petróleo			
Fracción	Intervalo de átomos de carbono	Intervalos de PE (° C)	Usos
Gas natural	C <sub>1</sub> – C <sub>4</sub>	-161 a 20	Combustible y gas de cocina
Éter de petróleo	C <sub>5</sub> – C <sub>6</sub>	30 a 60	Disolvente para compuestos orgánicos
Ligroína	C <sub>7</sub>	20 a 135	Disolvente para compuestos orgánicos
Gasolina	C <sub>6</sub> – C <sub>12</sub>	30 a 180	Combustibles para autos
Queroseno	C <sub>11</sub> – C <sub>16</sub>	170 a 290	Combustibles para motores de jets y cohetes, y calefacción doméstica
Aceite combustibles	C <sub>14</sub> – C <sub>18</sub>	260 a 350	Combustibles para producción de electricidad, y calefacción doméstica
Aceites lubricantes	C <sub>15</sub> – C <sub>24</sub>	300 a 370	Lubricantes para autos y máquinas

Fuente: Química, R. Chang. 10° Edición.

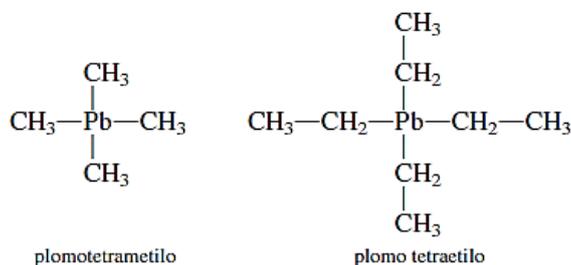
Probablemente la gasolina es el producto del petróleo mejor conocido. La gasolina, una mezcla de hidrocarburos volátiles, contiene en su mayor parte alcanos, cicloalcanos y determinados hidrocarburos aromáticos. Algunos de estos compuestos son mucho más adecuados como combustible para el motor de un automóvil que otros, de aquí el problema del tratamiento posterior y refinamiento de la gasolina.

La mayor parte de los automóviles tiene la operación de cuatro tiempos del motor del ciclo de Otto. Una importante preocupación de la ingeniería es controlar la combustión de la mezcla de gasolina y aire en el interior de cada cilindro del motor para obtener una expansión suave de la mezcla gaseosa. Si la mezcla se quema con demasiada rapidez, el pistón recibe un tirón duro en vez de un impulso fuerte y suave. Esta acción produce un sonido de cascabeleo o de detonación, así como una disminución en la eficiencia de la conversión de la energía de combustión a energía mecánica. Resulta que los hidrocarburos de cadena recta tienen mayor tendencia a producir cascabeleo, en tanto que los hidrocarburos aromáticos y de cadena ramificada producen el impulso suave deseado.

Por lo general, las gasolinas están clasificadas de acuerdo con el índice de octanaje, una medida de su tendencia a causar el cascabeleo en los motores. En esta escala, a un compuesto C<sub>8</sub> ramificado (2,2,4-trimetilpentano, o isoctano) se le ha asignado arbitrariamente un índice de octanaje de 100, y el del n-heptano, un compuesto de cadena recta, es cero. Cuanto más alto sea el índice de octanaje del hidrocarburo, mejor será su desempeño en el motor de combustión interna. Los hidrocarburos aromáticos, como el benceno y el tolueno, tienen los índices de octanaje más altos (106 y 120, respectivamente), como los que poseen los hidrocarburos alifáticos con cadenas ramificadas.



El índice de octano de los hidrocarburos se puede mejorar al añadir pequeñas cantidades de compuestos llamados agentes antidetonantes. Entre los que se utilizan con mayor frecuencia están los siguientes:



La adición de 2 a 4 g de cualquiera de estos compuestos a un galón de gasolina incrementa el índice de octanaje en 10 o más. No obstante, el plomo es un metal altamente tóxico, y la descarga constante de las emisiones del automóvil en la atmósfera se ha convertido en un serio problema ambiental. Las regulaciones federales requieren que todos los autos fabricados después de 1974 utilicen gasolinas "sin plomo". Los convertidores catalíticos con que están equipados los automóviles más recientes pueden ser "envenenados" con plomo, otra razón para que este metal se excluya de la gasolina. Para minimizar el cascabeleo, las gasolinas sin plomo contienen metil-ter-butil éter (MTBE), el cual minimiza el mencionado ruido e incrementa el contenido de oxígeno de la gasolina, lo que provoca que el combustible se queme más limpiamente. Por desgracia, a finales de la década de 1990 se encontró MTBE en instalaciones de agua potable, principalmente debido a las fugas de gasolina de los tanques de almacenamiento. La sustancia hace que el agua tenga un olor y un sabor nauseabundo, y es un probable carcinógeno humano. En el momento en que este ensayo se está escribiendo, algunos estados han empezado a eliminar paulatinamente el uso del MTBE en la gasolina, aunque no se ha encontrado un sustituto idóneo.